



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Diseño y validación de una herramienta de gestión del ciclo de  
vida de activos de producción en compañía minera poderosa  
para reducir costos de operación y mantenimiento**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

**Marín Serin, Jean Paul (ORCID: 0000-0001-5458-2059)**

**ASESOR:**

**Dr. Jorge Antonio, Inciso Vásquez (ORCID: 0000-0001-8798-1283)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**Sistemas y Planes de Mantenimiento**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A Dios.

Por guiarme en cada paso que doy en mi vida. Por haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mi madre ELENA CLARA CERIN SALAZAR, a mi padre HILARIO MARIN MENDOZA, a mi hermana ARACELI YADIRA MARIN CERIN y a mi esposa SHIRLEY CRUZ VERA por su apoyo incondicional, por sus consejos, sus valores, su motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien y que me incentivan día a día para el logro de mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias al Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez por la enseñanza de los conceptos de Gestión de Mantenimiento, asesoría y apoyo profesional.

A mi familia, por todo el esfuerzo que realizan diariamente, por las enseñanzas y la comprensión que siempre me brindan para mejorar día a día.

## **PÁGINA DEL JURADO**

**DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD**

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del jurado:

En el cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA DE ACTIVOS DE PRODUCCIÓN EN COMPAÑÍA MINERA PODEROSA PARA REDUCIR COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico.

El Autor

ÍNDICE

Carátula ..... i

Dedicatoria ..... ii

Agradecimiento ..... iii

Página del jurado ..... iv

Declaratoria de autenticidad ..... v

Presentación ..... vi

Índice ..... vii

Índice de tablas ..... viii

Índice de figuras ..... ix

RESUMEN ..... x

ABSTRACT ..... xi

I. INTRODUCCIÓN ..... 1

    1.1. Realidad problemática ..... 1

    1.2. Trabajos previos ..... 2

    1.3. Teorías relacionadas al tema ..... 4

    1.4. Descripción del problema ..... 12

    1.5. Justificación del estudio ..... 14

    1.6. Hipótesis ..... 14

    1.7. Objetivos ..... 14

II. METODO ..... 16

    2.1. Diseño de investigación ..... 16

    2.2. Variables ..... 16

    2.3. Población y muestra ..... 17

    2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. .... 18

    2.5. Metodología ..... 18

    2.6. Tipo de estudio ..... 18

    2.7. Métodos de análisis de datos. .... 19

    2.8. Aspectos éticos. .... 19

III. RESULTADOS ..... 20

IV. DISCUSIÓN ..... 26

V. CONCLUSIONES. .... 28

VI. RECOMENDACIONES. .... 29

REFERENCIAS. .... 30

ANEXOS ..... 32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	17
Tabla 2 Población y muestra de los activos de Poderosa .....	17
Tabla 3 Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	18
Tabla 4 Costos del ciclo de vida de los activos de Compañía Minera Poderosa .....	22
Tabla 5 Estructura de flujo de caja de Compañía Minera Poderosa.....	22
Tabla 6 Flujo de caja para el ciclo de vida considerando el reemplazo del activo .....	23
Tabla 7 Flujo de caja para el ciclo de vida luego del primer Overhaul.....	23
Tabla 8 Flujo de caja para el ciclo de vida considerando el reemplazo del activo. ....	23
Tabla 9 Flujo de caja para el ciclo de vida luego del segundo Overhaul. ....	24
Tabla 10 Flujo de caja para el ciclo de vida considerando el reemplazo del activo. ....	24
Tabla 11 Flujo de caja para el ciclo de vida luego del tercer Overhaul.....	24



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Modelo de costo de ciclo de vida .....11

Figura 2 Modelo de rentabilidad máxima .....11

Figura 3 Ejemplo del modelo de herramienta para el Loader Sandvik Toro-04 .....21

Figura 4 Gráfico de costos del ciclo de vida de Loader Sandvik Toro-04 .....25

## RESUMEN

La empresa Compañía Minera Poderosa S.A. (CMPSA) requiere mejorar la toma de decisiones en las reparaciones mayores (overhaul) para reducir los costos de operación.

El proyecto consiste en elaborar una herramienta para el análisis y tomar la mejor decisión de reemplazo o reparación del activo, basado en indicadores económicos y de rendimiento.

La norma PAS 55-1 Gestión de Activos describe las especificaciones para la gestión de activos físicos, publicada por primera vez en el año 2004 en respuesta a la demanda por parte de la industria de un estándar para la gestión de activos.

Para la toma de decisiones acertadas, la norma PAS 55-1, expedida por la British Standard, aconseja hacer uso del modelo costo de ciclo de vida (LCC) por sus iniciales Life Cycle Costing, en la cual determina el momento recomendable, en términos de costos, para reemplazar un activo, después de considerar los diferentes costos asociados durante su vida útil: costos de inversión (CAPEX), costos de operar (OPEX) y costos de eliminación.

Después de elaborar la herramienta de gestión del ciclo de vida de un activo productivo de Compañía Minera Poderosa y analizar las alternativas: primera, realizar una reparación mayor (Overhaul) del activo en servicio y segunda, reemplazo del activo, se concluye, desde el punto de vista de evaluación de proyectos, que ambas alternativas son viables; sin embargo, con el indicador \$/hora se comprueba que la mejor alternativa es realizar el reemplazo del activo Loader Sandvik Toro-04, debido a que el costo se incrementa de 32.93 US\$/hora a 34.03 US\$/hora realizando la reparación mayor (Overhaul).

**Palabras clave:** LCC, OPEX, CAPEX, overhaul, activo.

## ABSTRACT

The Mining Poderosa S.A. (CMPSA) requires improve the making decision in the major repairs (Overhauls) to reduce kas cost operation.

The project is to develop a tool for the analysis and determine the best alternative replacement or repair asset, based on indicators economic and performance.

PAS 55-1 Asset Management describes the specifications for managing physical assets, first published in 2004 in response to industry demand for a standard for asset management.

To make a decision appropriate standard PAS 55, exceeded by The British Standard, recommended utilized model life cycle costing (LCC). That determines what is the optimal time, in terms economic for the replacement active or unit constructive, after considering the different cost on which incurred during his life cycle, capital costs (CAPEX) operating costs (OPEX) and costs elimination.

After preparing the life cycle management tool for a productive asset of Compañía Minera Poderosa and analyzing the alternatives: first, carry out a major repair (Overhaul) of the asset in service and second, replacement of the asset, it is concluded, from the point from the project evaluation point of view, that both alternatives are viable; However, with the \$ / hour indicator it is verified that the best alternative is to replace the Loader Sandvik Toro-04 asset, since the cost increases from US \$ 32.93 / hour to US \$ 34.03 / hour performing the major repair (Overhaul).

**Keywords:** LCC, OPEX, CAPEX, overhaul, asset.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

Las empresas que realizan gestión de activos físicos tienen bajo su responsabilidad la toma de decisiones de reemplazo o mantenimiento de estos, en condiciones recomendables para asegurar las operaciones. Deben elaborar la mejor estrategia para tomar la decisión en el momento oportuno, por tanto es una necesidad realizar un análisis de costos de los activos durante su ciclo de vida útil, considerando todas sus etapas adquisición, operación y disposición final.

Este trabajo tiene como objeto realizar el análisis de costo del ciclo de vida útil de un activo en operación de Compañía Minera Poderosa S.A., llamado Loader Toro 151D-04 en adelante: (Toro-04), el cual se encuentra al término de su vida útil. Los resultados del estudio permitirán definir cuál es la edad económica de reemplazo del activo. Datos de la empresa: Compañía Minera Poderosa S.A., Av. Primavera 834, Surco, Lima 33, RUC: 20137025354

Para desarrollar el trabajo se elaboró una herramienta en Excel utilizando los datos de entrada provistos por la empresa Compañía Minera Poderosa SA. Se analizaron dos escenarios: escenario 1: realizar overhaul del activo; escenario 2: reemplazar el equipo por una unidad nueva de similares características.

Como modelo para realizar los cálculos y el análisis se utilizará el modelo de costo de ciclo de vida (Life Cycle Cost), basado en la norma PAS 55.

Los resultados que entregó la herramienta fueron estudiados con los conceptos expuestos y se escogió la mejor alternativa como decisión que se debió tomar en la empresa CMPSA.

## **1.2. Trabajos previos**

León (2011), en su tesis titulada LA IMPORTANCIA QUE TIENE LA PLANIFICACIÓN Y LA GESTIÓN DEL INVENTARIO EN LA DISTRIBUIDORA REPRESENTACIONES Y SERVICIOS EN GENERAL SAN FRANCISCO SAC (TRUJILLO PERU), realizada para obtener el título de ing. Industrial con el objetivo de reducir los costos en inventarios mediante un planificación ordenada y eficaz. Por favor

Como sabemos que constantemente las empresas buscan ganar mayores utilidades y mejorar sus procesos, por tanto requieren de una buena planificación y gestión de inventarios. Por tanto la Distribuidora Representaciones y Servicios en General San Francisco SAC no son ajenos a este trabajo.

El inventario para esta empresa, es un activo importante que debe controlar con eficiencia, para convertirlo en un producto o activo de beneficio. Una administración eficiente y eficaz del inventario, es primordial para la superación de las organizaciones, debido a los costos que un inventario representa y el impacto en las operaciones.

En una correcta gestión de inventarios, se contempla “Un procedimiento para la toma de decisiones, con el objetivo de, lograr la satisfacción del usuario con el menor costo equilibrado con las operaciones siendo razonable para la organización.

En este trabajo el autor explica el déficit que existe en la gestión de los almacenes en la empresa distribuidora.

Los objetivos planteados en este trabajo, fue identificar todas las deficiencias en la gestión de almacenes y analizar las tendencias de los resultados financieros de la empresa. Para realizar este trabajo el autor utilizó la información histórica de la misma, así mismo hizo uso de los ratios financieros.

Se evidenció que el área de logística en la Distribuidora Representaciones y Servicios en General San Francisco SAC, tenía problemas en el manejo de existencias, por tanto, se determinó que no realizan una correcta planificación de Inventarios, afectando la rentabilidad de la empresa.

Además, se encontró que en este tipo de distribuidoras tienen la característica de trabajar con una gran diversidad y cantidad de productos, lo cual hace necesario contar con procedimiento a la medida que permitan tomar decisiones correctas y oportunas, de manera que brinden beneficios y reducción de costos.

Carpio (2009) en su investigación titulada IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE GESTIÓN DE ACTIVOS (PIURA PERU), para obtener el título de ing. Industrial partió de la hipótesis que determinando las debilidades de la gestión de una organización se puede hacer procesos de mejora continua (KAISEN). Si se determina las debilidades en la gestión de un área o departamento, se pueden implementar estrategias y metodologías para mejorar continuamente, de tal modo que se pueda alcanzar la excelencia.

Concluyó que el equipo vital es el motor-compresor, y que los mantenimientos no son eficaces por falta de coordinación con operaciones. Además, la gestión vigente presentaba muchas falencias en los sistemas de gestión y comportamiento, como historial de mantenimiento, indicadores y otros.

Gonzales (2006) en su investigación DISEÑO ESTRATEGIA OPERACIÓN CENTRADA EN CONFIABILIDAD PARA MINERA SPENCE S.A. (CHILE) para obtener el grado de Magister en Gestión y Dirección de Empresas, desarrolló una estrategia basada en Mantenimiento Clase Mundial para mejorar los indicadores de sus activos dentro de sus operaciones.

En Minera Spence S.A. se consideró los conceptos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el mismo que contemplaron para la implementación en su operación, que para estos efectos denominaron RCO®.

Lo que más les demoró fue establecer los nuevos indicadores de gestión de Mantenimiento centrado en Confiabilidad (KPI's).

Para validar la estrategia basada en confiabilidad se estableció una metodología de mejoramiento continuo (PHVA) con un plan con actividades concretas.

La conclusión más relevante derivada de este trabajo, es la relación de la oportunidad de iniciar una operación considerando el concepto de confiabilidad, desde la planificación. Esto ofrece claras directrices hacia la excelencia operacional, no obstante, cualquier esfuerzo en este sentido, no rendirá sus frutos si no existe disciplina, compromiso y constancia de los involucrados en operación y la alta dirección.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

García (2009), señala que una Auditoría de Mantenimiento sirve para comprobar CÓMO se encuentra la gestión de un departamento en un momento determinado. El objetivo de este trabajo no es para juzgar ni cuestionar la forma de trabajo del responsable de mantenimiento, todo lo contrario, es encontrar e identificar puntos de mejora y determinar qué acciones preventivas y correctivas son necesarias para mejorar los resultados.

También es importante diferenciar entre Auditorías Técnicas y Auditorías de Gestión.

Las auditorías técnicas determinan el estado de un equipo o instalación. Las auditorías de gestión, buscan determinar el grado de excelencia del sistema de gestión en un departamento de mantenimiento.

El cuestionario que propone consta de 105 preguntas, y es válido para aplicarlo en Compañía Minera Poderosa, con pequeñas modificaciones para adaptarlo mejor a la realidad de nuestra empresa.

Cada pregunta tiene 4 posibles valores: “3” si la respuesta a la pregunta planteada es muy favorable, “2” si la condición es mejorable o aceptable; “1” si la condición es desfavorable y es necesario realizar un cambio; y “0” si la respuesta es desalentadora al cual no se puede mejorar ni realizar un cambio. Para el cálculo los puntajes obtenidos serán divididos entre 315 (el máximo valor posible) se obtiene un valor numérico, que expresado en % podríamos llamar Índice de Conformidad.

Todas aquellas preguntas con resultado “0” o un “1” deben incluirse en un PLAN DE TRABAJO PARA LAS ACCIONES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS usando la metodología PHVA, luego de un tiempo, debe realizarse una nueva auditoría para comprobar aquellas condiciones o situaciones con puntajes desfavorables. Luego de unos meses unos departamentos con resultados desalentadores pasaran a ser un departamento modelo. Todo ello, sin grandes cambios, sin grandes reingenierías de proceso, y eliminar la opción de destruirlo todo y construir las instalaciones de cero y no pensar que la culpa la tiene otro.

La importancia de una auditoria de mantenimiento es EL PLAN DE MEJORA CONTINUA, en el que se identifican los problemas detectados en la gestión de mantenimiento en una empresa, y como se debe solucionar.

Hay varias formas de mejorar. La realización de una Auditoría de Mantenimiento no es una pócima mágica, tampoco el producto de un consultor hablador. Es una metodología más que sirve para identificar problemas y proponer soluciones.

### **Gestión de activos en Mantenimiento**

Como afirma **Tavares** (2001), en la introducción de Gestión de Activos para Mantenimiento desde los años 70, esto ayudará a entender la responsabilidad del área de mantenimiento tanto en los aspectos de estrategia como en costos.

- **Adquisición de un activo**

La toma de decisiones en compras en la actualidad, tienen gran influencia en el crecimiento y rentabilidad de Compañía Minera Poderosa, por tanto el área de Mantenimiento debe apoyar estas decisiones a través de:

- **Análisis de adquisición de activos:**

Buscar y filtrar información del activo que se necesita adquirir, las pautas que se deben considerar son: proveedor, marca, moldeo, potencia, capacidad y servicio post venta por parte del fabricante.

De ser necesario se puede recurrir a colegas que cuenten con el activo deseado operando en sus empresas.



- **Definición y selección de equipos de redundancia:**

Definir si debemos tener un equipo redundante en nuestros procesos, es vital para cumplir con nuestros indicadores en los distintos procesos, a fin de obtener los resultados esperados por la Empresa.

- **Colocar en la mira las decisiones estratégicas:**

Las adquisiciones de activos se deben evaluar considerando los indicadores de Mantenimiento y financieros, así mismo evaluar el proveedor idóneo con el mejor servicio post venta.

- **Seguimiento**

Evaluar las tendencias de los activos, de tal modo que nos permita aumentar la eficiencia en nuestras operaciones y poder determinar la o las herramientas para la reducción de costos dentro de nuestros procesos.

- **Localización y uso de los activos**

Implementar una base de datos para el registro de información y control como ubicación, finalidad, áreas de trabajo, función en cada proceso, fechas, costos de mano de obra y materiales.

- **Conformidad de las auditorias**

Con la tendencia actual donde los recursos son cada vez menores y las exigencias de mayor nivel día a día, todos los procedimientos están siendo continuamente mejorados para garantizar los resultados acorde a las metas u objetivos de cada proceso.

- **Garantía de información histórica**

Elaborar métodos simples y normalizados para la recaudación y registro de datos de intervención de equipos, modos de falla, recursos y costos.

- **Gestión de Mantenimiento**

Para tener la mayor utilidad en una empresa se debe tener el nivel más alto en la gestión de activos.

- **Mantenimiento Preventivo y predictivo**

El mantenimiento metódico como es el preventivo es económicamente costoso, por tanto, debe ser reemplazado por el basado en condición como lo es el Mantenimiento Predictivo.

Un buen plan de Mantenimiento basado en condición exige inspecciones y mediciones con frecuencias bien establecidas, los resultados deben ser registrados para elaborar y monitorear tendencias.

- **Productividad Humana**

Este indicador se define por las horas hombres efectivos de un profesional para realizar las tareas o actividades para el cual fue contratado.

En mantenimiento los valores de este indicador en la mayoría de empresas son inferiores a 50%, signos de improductividad que están asociados tiempos y movimientos, puntos que deben mejorarse constantemente.

- **Repuestos y suministros**

Una buena gestión de repuestos tendrá como resultado inventarios de almacén mínimos que son un ahorro significativo para la empresa, por otro lado los repuestos estratégicos se deben identificar con cuidado de tal manera que no afecten la gestión antes mencionada.

- **Venta (Valor residual)**

Todo activo dentro de una buena gestión debe tener su información referente al valor económico en cualquier instante.

- **Vender, no descartar**

Conocer el valor residual de un activo es de suma importancia para tomar una decisión en el momento oportuno para el reemplazo o reparación.

- **Valor Residual**

Es un dato importante para el momento de definir el reemplazo de un activo. La evaluación de valor residual de un activo es importante para un análisis de costos y definir la salida de servicio.

- **Retorno del dinero para operación**

Este concepto se puede ver hecho realidad con el buen mantenimiento de un activo, pues el valor residual de este será considerable.

- **Utilización adecuada de los índices de mantenimiento**

Es la base para una buena gestión de Mantenimiento, de esto depende los resultados a lograr, se debe definir e implementar los indicadores que son necesarios para una u otra operación.

A continuación, listamos los más importantes:

### **Tiempo promedio entre fallas**

Es el periodo en el cual un activo no presenta fallas dentro de una operación.

$$TMEF = \frac{NOIT.HROP}{NTMC} \quad (1)$$

### **Tiempo medio para reparación**

Es el tiempo dedicado por el mantenedor para corregir una falla o anomalía.

$$TMPR = \frac{HTMC}{NTMC} \quad (2)$$

Leyenda:

*TMPR: Tiempo medio para reparación*

*HTMC: Horas totales de Mantenimiento Correctivo*

*NTMC: Número Total de Mantenimientos Correctivos*

### **Disponibilidad Mecánica Clase Mundial de equipos**

Tiempo en el cual un equipo está disponible para operar.

$$DISP = \frac{\Sigma HROP}{\Sigma (HROP - HTMN)} \quad (3)$$

Leyenda:

*DISP: Disponibilidad Mecánica Clase Mundial*

*HROP: Horas de Operación*

*HTMN: Horas Totales de Mantenimiento*

### **Confiabilidad**

La forma más común de medir que tan confiable es un equipo en una operación, por lo general se calcula con el tiempo promedio entre fallas y tiempo promedio para reparar.

$$CONF = \frac{TMEF}{TMPR + TMEF} \times 100 \quad (4)$$

Leyenda:

*CONF: Confiabilidad*

*TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas*

*TMPR: Tiempo medio para reparación*

- **Ciclo de vida de un activo**

Para la gestión de activos, es importante conocer el modelo de costo de ciclo de vida (Life Cycle Costing) considerado en la norma IEC 60300 (IEC, 2004, p. 30).

Por otro lado, la norma recomienda lo siguiente:

**a) Recolección de datos: obedece a la elección del activo y los datos de entrada.**

Debe realizarse con base en la información verás reunida por la empresa, acorde al detalle de costos. No obstante, para casos en que no haya información registrada, la compañía debe ayudarse con analogías de industrias con procesos similares, o a proyecciones apoyadas con criterios de especialistas en la materia.

**b) Concepción y definición:**

considera los costos de investigación del mercado y los dedicados para el análisis de adquisición del activo.

**c) Diseño y desarrollo:**

considera los costos para el manejo del proyecto, diseño, ingeniería, documentos, desarrollo de software, pruebas y evaluación, manejo de calidad y otros.

**d) Fabricación e instalación:**

considera los equipos para ejecutar las pruebas, repuestos, documentos, software y construcción de cimentación y/o instalaciones.

**e) Operación y mantenimiento:**

considera costos relacionados a operación, entrenamiento, herramientas y partes; además, los materiales de consumo, costos de laboratorios y energía. También los costos asociados con las categorías de mantenimiento preventivo, correctivo y los indirectos.

#### **f) Disposición final:**

considera el costo de parar el equipo y desmontarlo, además el costo asociados a la disposición final, acorde a la legislación ambiental vigente. Para casos de los equipos eléctricos y electrónicos debe ser reciclado, lo cual se incluye estos gastos.

#### **g) Análisis del ciclo de vida:**

debe considerar las diferentes alternativas de mantención, reemplazo o mejorara del activo.

- Análisis del ciclo de vida del activo en operación: se crea el flujo de caja para el activo en tesis, para esto se debe elaborar el modelo considerando las tres fases del ciclo de vida de un activo:
  - Primera fase: planeamiento y construcción, tiene una duración de tres años y en esta se desarrolla el CAPEX.
  - Segunda fase: llamada de operación y mantenimiento, considera los costos de operación del activo. Es importante reconocer que para las unidades constructivas hay innovaciones tecnológicas cada 15 años; por lo tanto, se presenta obsolescencia, que incide de forma directa en la disponibilidad de la unidad, por falla de equipos, componentes y la indisponibilidad de repuestos.
  - Tercera fase del ciclo de vida: es el reemplazo y eliminación del activo.
- Análisis del ciclo de vida, en el que se debe considerar la renovación tecnológica del activo. Con esta decisión se espera cumplir con el 95% de disponibilidad que exige la empresa y, por consiguiente, disminuir los costos de operación; sin embargo, en la experiencia de la compañía no ha sido posible asegurar estos porcentajes de disponibilidad.
- Análisis del ciclo de vida, en el que debe considerar el reemplazo del activo antes de llegar al término de su vida útil. Este reemplazo permite a la empresa elaborar proyecciones de disponibilidad, acorde a la experiencia del fabricante, considerando que ante casos de fallos que afecten la disponibilidad, la responsabilidad del fabricante es asumir los costos de compensación.

**h) Evaluación de los riesgos en los costos del ciclo de vida del activo.**

Las variables que afectan los resultados esperados en rentabilidad por la operación del activo son susceptibles de análisis con herramientas estadísticas, con el fin de lograr que su proyección sea mucho más ajustada a la realidad.

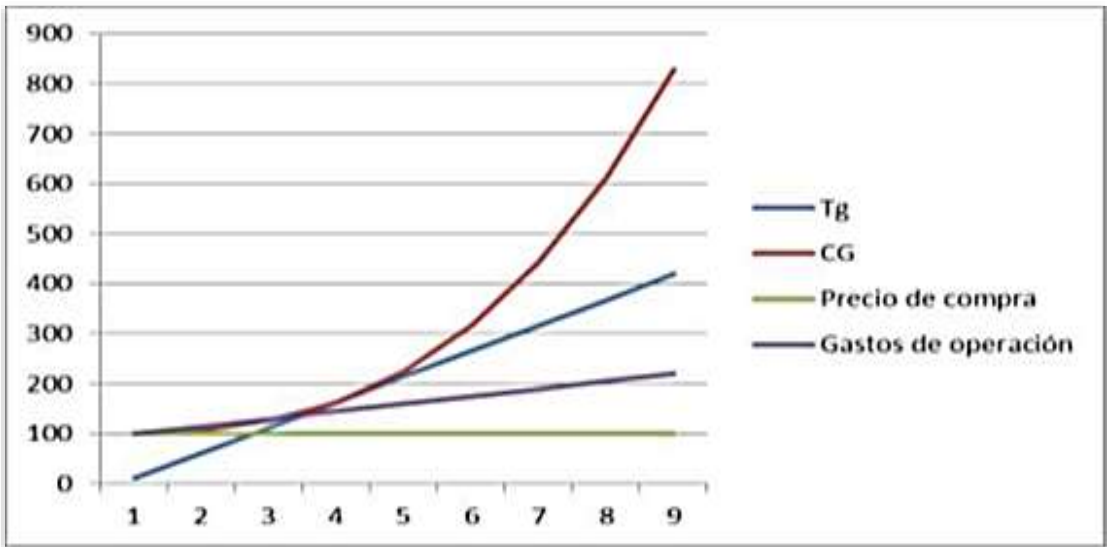


Figura 1 Modelo de costo de ciclo de vida



Figura 2 Modelo de rentabilidad máxima

*Nota: Para este trabajo se tomó el modelo de costo de ciclo de vida.*

**i) Aplicación de las técnicas de evaluación financiera.**

Para la evaluación financiera se aplicará el criterio de la vida económica del activo usando el VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno) y PAY BACK (periodo de recupero) que permitirá establecer si el activo se mantiene

("defensor") o se reemplaza por uno nuevo ("retador"). El valor del VAN, TIR y PAY BACK se calculará para cada ciclo de vida en el flujo de caja, según el acumulado de costos. Los resultados se compararán para tomar la decisión de gestión del activo.

#### **j) Resultados esperados de la aplicación del modelo de costo de ciclo de vida LCC**

- Encontrar el momento óptimo económico de sustitución del activo.
- Decidir desde el punto de vista financiero de mantener, reemplazar o renovar el activo para extender su vida útil.
- Evaluar los riesgos y el impacto en los costos del flujo de caja para tomar la decisión correcta.

#### **1.4. Descripción del problema**

Una decisión que con frecuencia se toma en operaciones, es si debe retirar de uso un activo existente, continuar en servicio o ser reemplazado con un activo nuevo. A medida que aumentan las exigencias de los usuarios, se requiere mejorar la calidad del servicio, este tipo de decisiones suele tomarse cotidianamente. De esta manera, el problema de reemplazo de activos, requiere de cuidadosos estudios de ingeniería económica que faciliten la información requerida para la toma de mejores decisiones con el fin de mejorar la eficiencia de los equipos de nuestra operación y la competitividad de la empresa como es Compañía Minera Poderosa.

Cuando se están tomando decisiones sobre reemplazo se tienen dos cursos de acción a la disposición. La primera posibilidad es mantener el activo que ya se posee por un periodo adicional de tiempo mediante una reparación mayor u Overhaul. La segunda posibilidad es retirar el activo actual para ser reemplazado por otro.

En cada situación puede haber muchas alternativas, pero una de ellas será siempre la de no hacer nada, la de mantener el estado de las cosas. La pregunta sobre se debe reemplazar un activo o no, es una decisión que tiene muchas implicancias en las operaciones de la Empresa. Por tanto, todo problema de inversión en equipo es también un problema de reemplazo.

Actualmente en Compañía Minera Poderosa utiliza las siguientes estrategias:

- a) Mantenimiento Productivo Total, en esta estrategia hemos involucrado a todo el personal de las diferentes áreas, incidiendo con mayor influencia en los operadores para las intervenciones preventivas básicas como inspecciones, ajustes y lubricación.
- b) Mantenimiento Preventivo Programado, esta estrategia contempla los planes de mantenimiento basado en las recomendaciones y manuales del fabricante, los mismos que tienen frecuencias de intervención establecidas por horas, kilómetros y días de operación de los activos de la empresa.
- c) Mantenimiento Preventivo No Programado, esta estrategia nos permite corregir las observaciones producto de los Mantenimiento Predictivos y Preventivos.
- d) Mantenimiento Predictivo, esta estrategia se basa en monitorear las condiciones de los activos para predecir fallas intempestivas que nos generen costos elevados, actualmente este servicio lo realizamos con Empresas Especializadas y se usan las siguientes técnicas:
  - ✓ Análisis de Vibraciones.
  - ✓ Termografía.
  - ✓ Ultrasonido.
  - ✓ Ensayos no destructivos NDT.
- e) Mantenimiento Correctivo, esta estrategia nos permite corregir las observaciones producto de los Mantenimiento Preventivos, reparar o reemplazar componentes para eliminar paradas de los activos.

El reemplazo de un activo no se realiza siguiendo un procedimiento adecuado, en función de la vida útil, costos financieros, costos de operación y Mantenimiento, esto provoca importantes costos por tener activos en etapa de vejez, con menor capacidad y rendimiento.

Con esta investigación se podrá contar con un procedimiento y hacer uso de una herramienta de gestión de activos a medida, para el soporte en la toma de decisiones al momento de reparar o reemplazar un activo.



## **1.5. Justificación del estudio**

### **a) Relevancia institucional**

La aplicación de una herramienta de gestión de activos para la toma de decisiones, permite a Compañía Minera Poderosa estar al mismo nivel de las empresas del mismo rubro.

### **b) Relevancia metodológica**

A través de la implementación de una herramienta de gestión de activos se utilizará un modelo gráfico para el análisis de información y así tomar la decisión correcta y acertada en beneficio de la Compañía.

### **c) Relevancia Tecnológica**

Con un programa de inversiones bien elaborado se logrará adquirir equipos nuevos, modernos y confiables para nuestras operaciones.

### **d) Relevancia Económica**

Compañía Minera Poderosa podrá realizar un plan de reemplazo de equipos con el diseño de una herramienta para la gestión de activos, para reducir los costos de Operación y Mantenimiento.

## **1.6. Hipótesis**

El diseño de una herramienta de gestión de activos brindará soporte en la toma de decisiones para el reemplazo de activos y permitirá reducir los costos de Operación y Mantenimiento en Compañía Minera Poderosa.

## **1.7. Objetivos**

### **a) Objetivo General**

Diseñar una herramienta de gestión de activos para el soporte en la toma de decisiones de reemplazo de activos de producción y permita reducir los costos de Operación y Mantenimiento en Compañía Minera Poderosa.

**b) Específicos**

Diseñar y validar una herramienta de gestión del ciclo de vida de activos de producción en Compañía Minera Poderosa para reducir costos de operación y Mantenimiento.

Realizar el análisis económico con los costos de Operación y Mantenimiento de los equipos, elaborar el plan de inversiones en Compañía Minera Poderosa para reemplazo de activos.

Realizar el análisis financiero, determinando sus indicadores, flujo de caja, valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) antes de una reparación mayor (Overhaul) o reemplazo de activo.

## **II. MÉTODO**

### **2.1. Diseño de investigación**

**a) No Experimental – Transversal.** - debido a que recolectan los datos en un solo momento en el tiempo, describiendo las variables o relaciones entre ellas. En este estudio se buscó explicar el comportamiento de un activo productivo a lo largo de su ciclo de vida.

**b) Descriptivo simple.** - Ya que recoge información relacionada con el objeto de estudio, no presentándose la administración o control de un tratamiento.

### **2.2. Variables**

#### **Variable independiente.**

Ciclo de vida de un activo productivo de Compañía Minera Poderosa, Loader Sandvik Toro-04.

#### **Variable dependiente.**

Validación de una herramienta de gestión de ciclo de vida de activos.

Comportamiento de un activo productivo, Loader Sandvik Toro-04 de Compañía Minera Poderosa en sus costos de Operación y Mantenimiento durante el ciclo de vida.

Tabla 1 Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Ciclo de vida de un activo	Es un instrumento que contempla el intervalo de tiempo desde la adquisición de un activo hasta su eliminación	Esta variable se medirá a través de los indicadores de gestión de Mantenimiento durante el ciclo de vida de un activo.	Disponibilidad Mecánica Clase Mundial de activos	Porcentaje de disponibilidad	Razón
			Confiabilidad de activos	Porcentaje de confiabilidad	Razón
			Tiempo Medio Entre Fallas	Horas promedio	Intervalo
			Tiempo Medio Para Reparar	Horas Promedio	Intervalo
Validación de una herramienta de gestión del ciclo de vida de activos.	Es identificar el tipo de herramienta que se utiliza para evaluar la gestión del ciclo de vida.	Esta variable se medirá a través de los costos de producción: Inversión (CAPEX), Operación y Mantenimiento (OPEX)	OPEX - CAPEX	US\$/Hora	Intervalo
			OPEX - CAPEX	US\$/TMS	Intervalo

2.3. Población y muestra

Población

Los activos operativos de Compañía Minera Poderosa son varios, dentro de los cuales se encuentran los cargadores de bajo perfil en un número de 11 unidades.

Tabla 2 Población y muestra de los activos de Poderosa

CLASE	DES_ANEXO	IDENTIFIC	MARCA	MODELO	SERIE	CAP.	UND_CAP.
CARGADOR	LOADER TORO-05	SCCOP T-05	SANDVIK	TORO151D	T2151418	2	YD³
CARGADOR	LOADER LH203-01	SCCOP LH203-01	SANDVIK	LH203	T815U620	2	YD³
CARGADOR	LOADER LH203-02	SCCOP LH203-02	SANDVIK	LH203	L203D819	2	YD³
CARGADOR	LOADER LH203-03	SCCOP LH203-03	SANDVIK	LH203	L203D820	2	YD³
CARGADOR	LOADER TORO-04	SCCOP T-04	SANDVIK	TORO151D	L403D932	2	YD³
CARGADOR	LOADER TORO-06	SCCOP T-06	SANDVIK	TORO151D	T3151437	2	YD³
CARGADOR	LOADER 4LD	SCCOP 4LD-15	JOY	4LD	4614	2.5	YD³
CARGADOR	LOADER 4LD	SCCOP 4LD-16	JOY	4LD	4648	2.5	YD³
CARGADOR	LOADER 4LD	SCCOP 4LD-17	JOY	4LD	4704	2.5	YD³
CARGADOR	LOADER LH203	SCCOP LH203-18	SANDVIK	151D	T2151418	2	YD³
CARGADOR	LOADER ST	SCCOP ST-19	WAGNER	J 5220	224-9976R	2.2	YD³

**Muestra**

Debido a que el objeto de este estudio se enfocó al desarrollo y validación de una herramienta de gestión del ciclo de vida de activos, el muestreo fue no probabilístico, considerando el activo de mayor vida útil en compañía minera poderosa.

**Unidad de análisis**

Para este caso Loader Sandvik Toro-04.

**Criterios de inclusión**

La vida útil alcanzada en compañía minera Poderosa (20 años) y cantidad de reparaciones mayores (4 Overhauls).

**2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

**Análisis de contenido**

Mediante hojas de datos y fichas de registro de indicadores (Tabla 02).

Tabla 3 Técnica e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICA	INSTRUMENTO
Análisis Costo de ciclo de vida	Hojas de registro
Análisis de comportamientos	Fichas de registro

**2.5. Metodología**

**Métodos Teóricos**

En la investigación, se utilizó el método no experimental.

**2.6. Tipo de estudio**

- Explicativa

Debido a que este estudio estuvo enfocado a recolectar y analizar información para contrastar el antes con el después de un activo.

- Descriptiva

Porque esta investigación buscó conocer la situación de las variables mediante su descripción exacta en su entorno real.

## **2.7. Métodos de análisis de datos.**

El Módulo de Mantenimiento es un sistema que permite llevar el control de los Mantenimientos de los Activos de Compañía Minera Poderosa, de esta plataforma se realizó la exportación de información al Software Microsoft Office, herramienta Excel que sirvió para la elaboración de tablas, gráficos, simulación de tendencias para verificar y modelar resultados.

## **2.8. Aspectos éticos.**

Para este proyecto se ha dado a conocer a todos los profesionales del Área de Energía y Mantenimiento el desarrollo de la investigación.

Los profesionales responsables del desarrollo del proyecto tienen conocimiento del plan de ejecución.

La remuneración del tiempo dedicado para el proyecto está contemplada en el presupuesto de costos de la Empresa Compañía Minera Poderosa.

Los gastos para capacitación a los profesionales responsables del desarrollo del proyecto, está contemplado en el Plan de Inversiones 2,017 de la Empresa Compañía Minera Poderosa.

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1. Validación de la Herramienta de Gestión de Activos Basado en Costo de Ciclo De Vida (LCC).**

Para la validación de la herramienta de gestión de activos, se consideró el modelo de costo de ciclo de vida (Life Cycle Costing) considerado en la norma IEC 60300 (IEC, 2004, p. 30).

Por otro lado, la norma también recomienda:

1. Recolección de datos, refiere a la selección del activo y los datos de entrada.
2. Concepción y definición
3. Diseño y desarrollo
4. Fabricación e instalación
5. Operación y mantenimiento
6. Disposición final
7. Análisis del ciclo de vida
  - a) Análisis del ciclo de vida del activo existente
  - b) Análisis del ciclo de vida, en el que se ha de considerar la renovación tecnológica del activo.
  - c) Análisis del ciclo de vida, en el que debe considerar el reemplazo del activo antes de llegar al fin de su vida útil.
8. Evaluación de los riesgos en los costos del ciclo de vida del activo
9. Aplicación de las técnicas de evaluación financiera

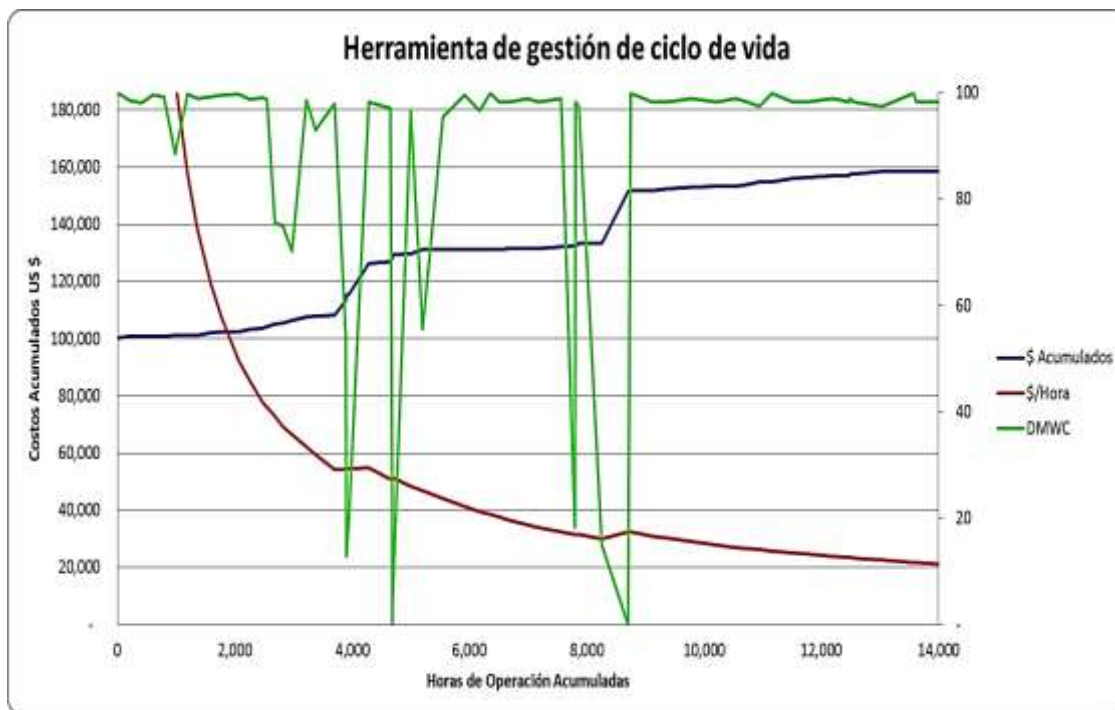


Figura 3 Ejemplo del modelo de herramienta para el Loader Sandvik Toro-04

Fuente: el autor

### 3.2. Aplicación de la Herramienta de Gestión de Activos Basado en Costo de Ciclo De Vida (LCC).

Descripción de la herramienta de gestión de activos:

#### a) Criterios de aplicación de la herramienta:

Costos acumulados, este indicador sirvió para ver los gastos acordes a la vida del activo seleccionado.

Costos horarios, indicador de los gastos involucrados en la operación del activo seleccionado.

Disponibilidad Mecánica Clase Mundial (DMWC), indicador que sirvió para verificar el comportamiento a lo largo de la vida útil del activo seleccionado.

#### b) Desarrollo de la herramienta:

El modelo se desarrolló en excel, se creó un libro llamado Análisis de Ciclo de Vida Toro-04 el cual se anexó a este trabajo.

#### c) Datos de entrada

Los datos de entrada que se usaron para la elaboración del gráfico de la herramienta de gestión del ciclo de vida de un activo provienen del software de Compañía Minera Poderosa S.A., el manejo de esta información cumple con la



norma de calidad ISO 9001-2015, los mismos que son parte del costo de ciclo de vida del activo seleccionado. Ver anexo 01

Tabla 4 Costos del ciclo de vida de los activos de Compañía Minera Poderosa

COSTOS DEL CICLO DE VIDA			
CAPITAL	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO	DESCARTE
Proyecto, compra de materiales, instalaciones construcción, estudios tratamientos, capacitaciones, pruebas, documentación	Mano de obra, energía, vapor agua, insumos, materiales.	Mano de obra, materiales de consumo, reposición, tercerización, oficinas, horas extras.	Desmonte, desguace. Disposición final.
CAPEX	OPEX		

Fuente: El autor

d) Construcción del flujo de caja

Para el flujo de caja del proyecto se consideró los ingresos anuales estipulados por el área de contabilidad de la empresa Compañía Minera Poderosa, así como los gastos de operación, costos administrativos, impuestos y los gastos financieros.

La plantilla para el flujo de caja es el siguiente:

Tabla 5 Estructura de flujo de caja de Compañía Minera Poderosa

PROYECTO					
Tasa de Interés 12% ANUAL		Payback	TIR	VAN (12% TEA)	
FLUJO DE CAJA	Periodo de Evaluación				
	Año	Año	Año	Año	Año
	CAPEX activo nuevo				
	OPEX activo nuevo				
	Ingresos				
	Flujo de caja				

Fuente: El autor

En la elaboración del flujo de caja se tuvo en cuenta las diferentes alternativas para evaluar el proyecto, en el libro excel se puede verificar los resultados obtenidos para cada escenario dentro del ciclo de vida del Loader Toro-04, el mismo que se muestra en el gráfico de la herramienta de gestión de activos de Compañía Minera Poderosa (Ver tabla 05).

e) Ciclo de vida en la primera etapa

Tabla 6 Flujo de caja para el ciclo de vida considerando el reemplazo del activo

REEMPLAZO DE LOADER SANDVIK TORO-04					
<b>Tasa de Interés</b> 12% ANUAL		<b>Payback</b>	<b>TIR</b>	<b>VAN (12% TEA)</b>	
		0.3 años	151.0%	117,111	
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Periodo de Evaluación</b>				
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>		
	CAPEX activo nuevo	-234,382	0	0	
	OPEX activo nuevo	-29,144	-87,825	-81,417	
	Ingresos	200,000	200,000	200,000	
	<b>Flujo de caja</b>	<b>-63,526</b>	<b>112,175</b>	<b>118,583</b>	

Fuente: El autor

Tabla 7 Flujo de caja para el ciclo de vida luego del primer Overhaul.

PRIMER OVERHAUL DE LOADER SANDVIK TORO-04					
<b>Tasa de Interés</b> 12% ANUAL		<b>Payback</b>	<b>TIR</b>	<b>VAN (12% TEA)</b>	
		0.6 años	57.0%	74,047	
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Periodo de Evaluación</b>				
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>		
	CAPEX Overhaul	-165,679	0	0	
	OPEX Overhauled	-149,416	-121,373	-39,656	
	Ingresos	200,000	200,000	200,000	
	<b>Flujo de caja</b>	<b>-115,095</b>	<b>78,627</b>	<b>160,344</b>	

Fuente: El autor

f) Ciclo de vida en la segunda etapa

Tabla 8 Flujo de caja para el ciclo de vida considerando el reemplazo del activo.

REEMPLAZO DE LOADER SANDVIK TORO-04					
<b>Tasa de Interés</b> 12% ANUAL		<b>Payback</b>	<b>TIR</b>	<b>VAN (12% TEA)</b>	
		0.6 años	48.6%	58,447	
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Periodo de Evaluación</b>				
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>		
	CAPEX activo nuevo	-300,086	0	0	
	OPEX activo nuevo	-29,144	-87,825	-81,417	
	Ingresos	200,000	200,000	200,000	
	<b>Flujo de caja</b>	<b>-129,230</b>	<b>112,175</b>	<b>118,583</b>	

Fuente: El autor

Tabla 9 Flujo de caja para el ciclo de vida luego del segundo Overhaul.

SEGUNDO OVERHAUL DE LOADER SANDVIK TORO-04					
<b>Tasa de Interés</b>  12% ANUAL		<b>Payback</b>	<b>TIR</b>	<b>VAN (12% TEA)</b>	
		1.0 años	10.6%	-3,886	
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Periodo de Evaluación</b>				
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>		
	CAPEX Overhaul	-202,580	0	0	
	OPEX Overhauled	-201,983	-146,678	-8,576	
	Ingresos	200,000	200,000	200,000	
	<b>Flujo de caja</b>	<b>-204,563</b>	<b>53,322</b>	<b>191,424</b>	
<b>Fuente:</b> El autor					

g) Ciclo de vida en la tercera etapa

Tabla 10 Flujo de caja para el ciclo de vida considerando el reemplazo del activo.

REEMPLAZO DE LOADER SANDVIK TORO-04					
<b>Tasa de Interés</b>  12% ANUAL		<b>Payback</b>	<b>TIR</b>	<b>VAN (12% TEA)</b>	
		0.8 años	24.8%	25,634	
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Periodo de Evaluación</b>				
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>		
	CAPEX activo nuevo	-336,836	0	0	
	OPEX activo nuevo	-29,144	-87,825	-81,417	
	Ingresos	200,000	200,000	200,000	
	<b>Flujo de caja</b>	<b>-165,980</b>	<b>112,175</b>	<b>118,583</b>	
<b>Fuente:</b> El autor					

Tabla 11 Flujo de caja para el ciclo de vida luego del tercer Overhaul.

TERCER OVERHAUL DE LOADER SANDVIK TORO-04					
<b>Tasa de Interés</b>  12% ANUAL		<b>Payback</b>	<b>TIR</b>	<b>VAN (12% TEA)</b>	
		2.2 años	-80.9%	-410,676	
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>Periodo de Evaluación</b>				
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>		
	CAPEX Overhaul	-271,997	0	0	
	OPEX Overhauled	-366,273	-246,407	-175,230	
	Ingresos	200,000	200,000	200,000	
	<b>Flujo de caja</b>	<b>-438,270</b>	<b>-46,407</b>	<b>24,771</b>	
<b>Fuente:</b> El autor					

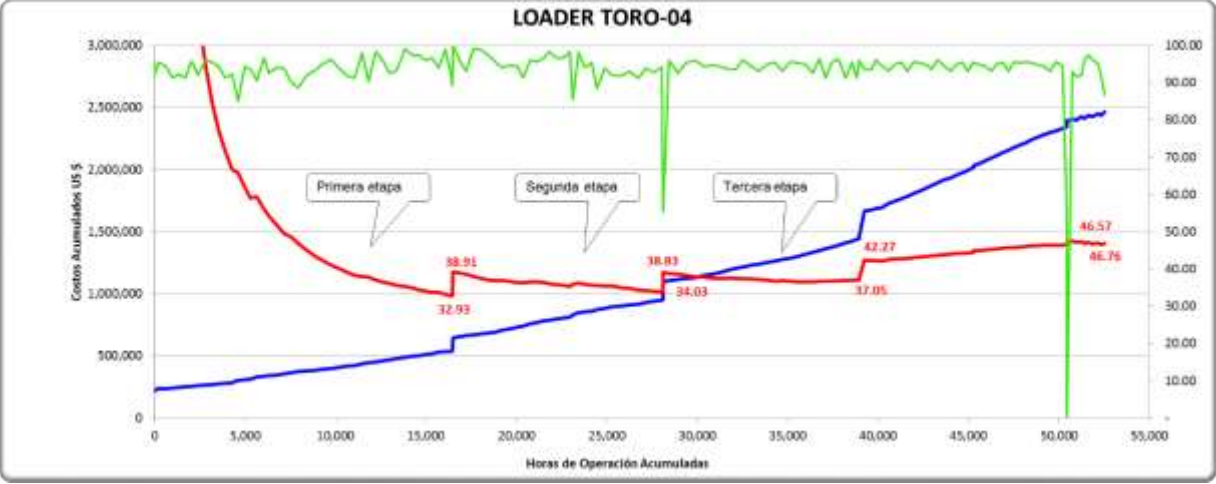


Figura 4 Gráfico de costos del ciclo de vida de Loader Sandvik Toro-04

#### IV. DISCUSIÓN

- De la tabla 06 considerando el reemplazo del activo Toro-04 se puede observar en los resultados del análisis financieros números positivos como, el VAN de US\$117,111 soles, un TIR de 151% y un periodo de recuperación de la inversión de 3.6 meses.
- De la tabla 07 considerando realizar el overhaul del activo Toro-04 los resultados financieros también son positivos con un VAN US\$ 74,047 soles, un TIR de 57% y un periodo de recuperación de la inversión de 7.2 meses.

En esta primera etapa de vida del activo Toro-04 la mejor decisión en ese entonces debería haber sido el reemplazo, no obstante, la empresa Compañía Minera Poderosa decidió realizar el Overhaul debido a la diferencia del costo de inversión en ese momento US\$ 234,382 (CAPEX, activo nuevo) con respecto a US\$ 165,679 (CAPEX, activo overhauled).

- De la tabla 08 considerando el reemplazo del activo Toro-04 los resultados financieros son positivos con un VAN US\$ 58,447 una TIR de 48.6 y un periodo de recupero de la inversión de 7.2 meses.
- De la tabla 09 considerando realizar el overhaul del activo Toro-04 los resultados financieros fueron un VAN **US\$ -3,886**, un TIR de 10.6% y un periodo de recupero de la inversión de 12 meses.

En esta segunda etapa de vida del activo Toro-04 la mejor decisión debería ser el reemplazo, sin embargo, la empresa Compañía Minera Poderosa decidió volver a realizar el Overhaul debido a la diferencia del costo de inversión en ese momento US\$ 300,086 (CAPEX, activo nuevo) con respecto a US\$ 202,580 (CAPEX, activo overhauled).

- De la tabla 010 considerando el reemplazo del activo Toro-04 los resultados financieros son positivos con un VAN US\$ 25,634, un TIR de 24.8 y un periodo de recuperación de la inversión de 9.6 meses.
- De la tabla 11 considerando realizar el overhaul del activo Toro-04 los resultados financieros fueron un VAN **US\$ -410,676** una TIR de **-80%** y un periodo de recupero de la inversión de 12 meses.

En esta tercera etapa de vida del activo Toro-04 la mejor decisión debería ser el reemplazo, sin embargo, la empresa Compañía Minera Poderosa decidió volver a

realizar el Overhaul debido a la diferencia del costo de inversión en ese momento US\$ 336,836 (CAPEX, activo nuevo) con respecto a US\$ 271,997 (CAPEX, activo overhauled).

De la figura 04 se puede observar:

- El costo horario del activo en la línea de color rojo, este indicador tiene la tendencia de la curva de la bañera de un activo productivo.
- Costo acumulado del activo el cual incluye el costo de la inversión (CAPEX) y el costo de operación (OPEX).
- Porcentaje de Disponibilidad Mecánica World Class durante el ciclo de vida del activo toro-04.

## **V. CONCLUSIONES.**

La herramienta del ciclo de vida del Toro-04", nos ha permitido evaluar el VAN, TIR y PAYBACK, la cual ha demostrado que la decisión correcta debió ser el reemplazo del activo y no el overhaul.

Realizar el overhaul del activo Toro-04 incremento los costos de operación en Compañía Minera Poderosa de 32.93 US\$/hora a 42.27 US\$/hora durante su ciclo de vida.

El análisis financiero del flujo de caja demostró que realizar el Overhaul en la primera etapa no fue rentable para la empresa, debido a que el VAN fue de US\$ 74,047, un TIR de 57% y un periodo de recuperación de la inversión de 7.2 meses, con respecto al reemplazo del activo con un VAN de US\$ 117,111 un TIR de 151% y un periodo de recuperación de la inversión de 3.6 meses.

## **VI. RECOMENDACIONES.**

Los profesionales de mantenimiento deberían tomar en cuenta esta herramienta para la toma de decisiones de reemplazo de activos.

Los nuevos tesisistas podrían evaluar entre otras herramientas de mantenimiento el modelo de rentabilidad máxima.

Se debe considerar por parte de la Superintendencia de Energía y Mantenimiento, brindar capacitaciones al personal, ya que actualmente esta actividad de evaluación del costo de ciclo de vida no se contempla en la gestión de activos de la empresa.



## REFERENCIAS.

- Aduvire, E. (1990). Reemplazo óptimo de maquinaria minera en explotaciones a cielo abierto mediante el análisis de sensibilidad financiero por la vía del riesgo. Madrid, Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Avarca, R. &. (2000). Análisis de vida útil de equipos y bienes de capital. Santiago, Santiago, Chile: Universidad Central de Chile.
- Baca, G. (2000). Fondo educativo panamericano. Ingeniería económica, 366.
- Beichelt, F. (2001). Replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost. En F. Beichelt, Replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost (págs. 76-83).
- BLANCK, T. &. (1999). Ingeniería económica. Ingeniería económica, 4, 722.
- Boltini, R. (2008). Modelos matemáticos para la optimización de reemplazo preventivo e inspecciones preventivas. X Congreso internacional de Mantenimiento y IV Congreso trasnacional de Mantenimiento, (pág. 41). Buenos aires.
- Botín, J. (1986). Modelo matemático para la programación del mantenimiento y control presupuestario de sistemas de transporte de mineral mediante camiones fuera de ruta. Madrid, Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Bruzos, G. (2005). Análisis técnico económico de los vehículos que circulan en Cuba y la reposición del parque. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=181322699005>
- Cantillo, V. (1998). Reemplazo económico de los equipos. Ingeniería y desarrollo. Obtenido de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2194>
- Carpio, V. (2009). Implementación del proceso de gestión de activos. Piura, Piura, Peru: Universidad de Piura.
- Churchman, W. (1971). Introducción a la investigación operativa. Ediciones Aguilar S.A.

- Gonzales, R. (2006). Diseño, estrategia y operación centrada en confiabilidad para Minera Spence S.A. Santiago, Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Leon, G. (2011). La importancia que tiene la planificación y la gestión del inventario. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Marrero, F. (2001). Simulación de sistemas. En F. Marrero, Simulación de sistemas (pág. 5). Manizales, Colombia: Universidad nacional de Colombia.
- Mey, J. (1956). Financiering en liquiteit. Van der Marck, pág. 5.
- Peumans, H. (1966). Théorie et pratique des calculs d'investissement. Revue économique, 04, 693-694. Obtenido de [http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/reco\\_0035-2764\\_1966\\_num\\_17\\_4\\_407724\\_t1\\_0693\\_0000\\_002](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/reco_0035-2764_1966_num_17_4_407724_t1_0693_0000_002)
- Poveda, G. (2002). Óptimo económico de máquinas y equipos. Facultad de ingeniería, 27(1).
- Prawda, J. (1981). Metodos y modelos de investigación de operaciones. Limusa S.A., 1/2.
- Preciado, J. (2001). Aplicación de un modelo económico para la toma de decisiones en reemplazo de equipos de acarreo en una mina a cielo abierto. Colima. Obtenido de [http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Jose%20Antonio%20Preciado%20Hernandez.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Jose%20Antonio%20Preciado%20Hernandez.pdf)
- Raibman, N. (1980). Identification of industrial processes. The application of computers in research and production control, 13.
- Ray, T. (1999). Development of an approach to facilitate optimal equipment replacement. En T. Ray, Development of an approach to facilitate optimal equipment replacement. Louisiana, Louisiana, EE.UU.: Louisiana State University. Obtenido de [www.ltrc.lsu.edu/pdf/techsumm329.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/techsumm329.pdf).

## ANEXOS

En los siguientes cuadros se muestran los indicadores: HOPE Horas de operación, \$ Costo, HOPE Acumulado, \$ Costo acumulado, \$/Hora Costo de operación horario, DMWC Disponibilidad mecánica World Class

### Anexo 1 Detalle de costos de operación del Loader Sandvik Toro-04

MES	HOPE	\$ COSTO	HOPE Aumulado	\$ Acumulados	\$/Hora	DMWC
may-03	-	217,425	0	217,425		95.41
jun-03	-	2,606	0	220,031		94.36
jul-03	-	5,386	0	225,416		91.27
ago-03	-	4,319	0	229,735		92.31
sep-03	249	5,320	249	235,056	942.49	95.41
oct-03	375	4,192	625	239,248	383.04	94.36
nov-03	358	3,764	982	243,012	247.42	91.27
dic-03	360	3,530	1,342	246,541	183.70	92.31
ene-04	330	5,261	1,672	251,802	150.64	91.21
feb-04	351	5,305	2,022	257,108	127.14	95.74
mar-04	373	3,660	2,396	260,768	108.86	92.03
abr-04	419	5,355	2,815	266,123	94.54	96.16
may-04	372	3,679	3,187	269,802	84.67	95.41
jun-04	358	4,212	3,544	274,015	77.31	94.36
jul-04	339	4,607	3,884	278,622	71.74	91.27
ago-04	414	7,962	4,298	286,584	66.69	92.31
sep-04	299	15,767	4,597	302,351	65.78	85.07
oct-04	370	5,902	4,967	308,252	62.06	94.39
nov-04	335	4,500	5,302	312,752	58.99	93.60
dic-04	338	21,614	5,640	334,366	59.29	90.49
ene-05	402	4,376	6,042	338,742	56.07	96.78
feb-05	277	4,787	6,319	343,529	54.36	92.66
mar-05	402	4,903	6,721	348,432	51.85	94.10
abr-05	446	6,483	7,167	354,914	49.52	93.82
may-05	371	10,846	7,538	365,760	48.52	90.10
jun-05	409	6,989	7,947	372,749	46.91	88.70
jul-05	459	5,974	8,406	378,723	45.06	91.92
ago-05	477	6,855	8,883	385,578	43.41	93.45
sep-05	430	8,683	9,313	394,262	42.33	95.08
oct-05	456	6,264	9,769	400,526	41.00	96.20
nov-05	389	7,985	10,158	408,511	40.22	94.06
dic-05	435	7,271	10,593	415,782	39.25	92.05
ene-06	432	6,843	11,025	422,625	38.33	91.15
feb-06	431	12,773	11,456	435,398	38.01	98.03
mar-06	358	11,630	11,814	447,028	37.84	90.17
abr-06	394	5,423	12,209	452,451	37.06	98.25
may-06	382	8,274	12,590	460,725	36.59	96.22
jun-06	393	7,197	12,984	467,922	36.04	92.44
jul-06	416	9,726	13,399	477,648	35.65	93.38
ago-06	461	10,856	13,860	488,504	35.24	99.06
sep-06	384	9,163	14,244	497,667	34.94	97.29
oct-06	398	5,198	14,642	502,865	34.34	97.31
nov-06	367	7,834	15,010	510,699	34.02	95.95
dic-06	304	4,610	15,313	515,310	33.65	96.67
ene-07	390	14,075	15,703	529,385	33.71	93.99
feb-07	357	4,921	16,060	534,306	33.27	99.01
mar-07	339	3,516	16,400	537,823	32.79	92.12
abr-07	59	4,202	16,458	542,024	32.93	89.06
may-07	-	-	16,458	542,024	32.93	
jun-07	-	-	16,458	542,024	32.93	
jul-07	-	-	16,458	542,024	32.93	
ago-07	-	-	16,458	542,024	32.93	
sep-07	31	104,919	16,489	646,943	39.24	100.00
oct-07	361	8,650	16,850	655,593	38.91	96.13
nov-07	354	9,462	17,204	665,054	38.66	93.08
dic-07	427	5,532	17,631	670,586	38.04	99.08

Fuente: Elaborados por el autor

MES	HOPE	\$ COSTO	HOPE Aumulado	\$ Acumulados	\$/Hora	DMWC
ene-08	438	7,324	18,069	677,911	37.52	98.77
feb-08	373	6,462	18,442	684,372	37.11	97.36
mar-08	421	10,629	18,862	695,002	36.85	95.50
abr-08	351	14,174	19,213	709,176	36.91	94.05
may-08	388	9,895	19,601	719,071	36.69	94.65
jun-08	421	10,685	20,022	729,756	36.45	94.43
jul-08	347	8,675	20,370	738,430	36.25	91.32
ago-08	399	19,679	20,768	758,110	36.50	96.14
sep-08	350	12,741	21,118	770,851	36.50	95.56
oct-08	402	11,431	21,520	782,281	36.35	96.52
nov-08	302	6,930	21,822	789,212	36.17	98.29
dic-08	421	7,147	22,243	796,359	35.80	96.60
ene-09	403	8,950	22,647	805,309	35.56	96.81
feb-09	304	5,301	22,951	810,610	35.32	98.38
mar-09	177	18,882	23,128	829,492	35.87	85.47
abr-09	306	19,284	23,434	848,777	36.22	98.09
may-09	332	5,772	23,766	854,549	35.96	94.21
jun-09	395	6,761	24,161	861,310	35.65	95.30
jul-09	307	11,020	24,468	872,330	35.65	88.56
ago-09	416	11,766	24,885	884,096	35.53	93.80
sep-09	414	12,159	25,299	896,255	35.43	92.04
oct-09	484	7,140	25,783	903,395	35.04	91.85
nov-09	457	8,898	26,240	912,293	34.77	93.04
dic-09	493	5,439	26,733	917,732	34.33	91.20
ene-10	451	13,635	27,184	931,367	34.26	93.79
feb-10	422	9,597	27,606	940,964	34.09	92.70
mar-10	459	7,749	28,064	948,713	33.80	94.11
abr-10	40	7,548	28,104	956,261	34.03	55.39
may-10	-	930	28,104	957,191	34.06	
jun-10	-	197	28,104	957,388	34.07	
jul-10	-	141,820	28,104	1,099,208	39.11	
ago-10	341	5,327	28,445	1,104,535	38.83	95.98
sep-10	470	10,395	28,915	1,114,930	38.56	92.59
oct-10	495	9,317	29,410	1,124,247	38.23	95.49
nov-10	487	7,917	29,897	1,132,164	37.87	95.87
dic-10	468	15,510	30,365	1,147,674	37.80	94.35
ene-11	467	10,682	30,832	1,158,356	37.57	94.65
feb-11	440	13,055	31,272	1,171,411	37.46	94.35
mar-11	475	18,796	31,747	1,190,207	37.49	93.55
abr-11	393	16,504	32,140	1,206,711	37.55	93.61
may-11	387	10,218	32,526	1,216,929	37.41	96.10
jun-11	432	11,815	32,958	1,228,743	37.28	94.58
jul-11	431	11,166	33,389	1,239,910	37.14	93.08
ago-11	471	12,598	33,860	1,252,508	36.99	94.96
sep-11	434	9,133	34,294	1,261,641	36.79	95.44
oct-11	404	15,773	34,698	1,277,413	36.82	93.11
nov-11	446	10,728	35,144	1,288,141	36.65	95.67
dic-11	429	13,050	35,574	1,301,191	36.58	95.27
ene-12	441	17,080	36,014	1,318,271	36.60	94.89
feb-12	362	14,673	36,377	1,332,944	36.64	92.53
mar-12	380	14,144	36,756	1,347,088	36.65	96.42
abr-12	345	13,945	37,102	1,361,033	36.68	91.18
may-12	355	14,246	37,456	1,375,279	36.72	95.48
jun-12	346	17,313	37,803	1,392,592	36.84	96.42
jul-12	393	18,456	38,196	1,411,048	36.94	91.18
ago-12	373	14,608	38,569	1,425,655	36.96	95.48
sep-12	266	12,436	38,835	1,438,092	37.03	91.18
oct-12	114	5,024	38,950	1,443,116	37.05	95.98
nov-12	-	2,194	38,950	1,445,309	37.11	
dic-12	-	2,560	38,950	1,447,869	37.17	

Fuente: Elaborados por el autor

MES	HOPE	\$ COSTO	HOPE Aumulado	\$ Acumulados	\$/Hora	DMWC
ene-13	-	2,144	38,950	1,450,013	37.23	
feb-13	-	2,144	38,950	1,452,157	37.28	
mar-13	-	2,144	38,950	1,454,301	37.34	
abr-13		2,144	38,950	1,456,445	37.39	
may-13	300	211,236	39,250	1,667,682	42.49	93.55
jun-13	387	7,778	39,636	1,675,460	42.27	93.61
jul-13	223	8,256	39,860	1,683,716	42.24	96.10
ago-13	371	12,252	40,231	1,695,969	42.16	94.58
sep-13	358	34,487	40,589	1,730,456	42.63	93.08
oct-13	341	17,103	40,930	1,747,559	42.70	94.96
nov-13	359	19,305	41,289	1,766,864	42.79	95.44
dic-13	328	17,123	41,617	1,783,986	42.87	93.11
ene-14	385	23,052	42,002	1,807,038	43.02	95.67
feb-14	319	19,305	42,321	1,826,343	43.15	95.27
mar-14	357	24,889	42,678	1,851,232	43.38	94.89
abr-14	270	20,084	42,948	1,871,316	43.57	93.61
may-14	362	22,157	43,309	1,893,473	43.72	96.10
jun-14	346	23,462	43,655	1,916,935	43.91	94.58
jul-14	346	18,118	44,001	1,935,052	43.98	93.08
ago-14	352	20,679	44,353	1,955,732	44.09	94.96
sep-14	310	20,176	44,663	1,975,907	44.24	95.44
oct-14	310	17,115	44,973	1,993,022	44.32	93.11
nov-14	310	24,681	45,282	2,017,703	44.56	95.67
dic-14	20	16,251	45,302	2,033,954	44.90	95.27
ene-15	339	16,569	45,641	2,050,523	44.93	94.89
feb-15	279	19,910	45,920	2,070,433	45.09	94.58
mar-15	340	22,363	46,260	2,092,795	45.24	93.08
abr-15	287	19,662	46,547	2,112,457	45.38	94.96
may-15	339	23,972	46,886	2,136,429	45.57	95.44
jun-15	336	20,728	47,221	2,157,158	45.68	93.11
jul-15	320	20,534	47,541	2,177,692	45.81	95.67
ago-15	320	20,534	47,861	2,198,225	45.93	95.27
sep-15	320	20,534	48,181	2,218,759	46.05	95.67
oct-15	320	20,534	48,501	2,239,293	46.17	95.27
nov-15	320	20,534	48,821	2,259,827	46.29	94.89
dic-15	320	20,534	49,141	2,280,361	46.40	94.58
ene-16	346	17,519	49,487	2,297,881	46.43	93.08
feb-16	363	16,898	49,850	2,314,778	46.43	95.55
mar-16	357	16,456	50,207	2,331,235	46.43	94.56
abr-16	224	14,507	50,431	2,345,741	46.51	54.03
may-16	10	10,176	50,442	2,355,918	46.71	7.29
jun-16	-	24,997	50,442	2,380,914	47.20	-
jul-16	-	10,260	50,442	2,391,174	47.40	-
ago-16	-	7,211	50,442	2,388,126	47.34	-
sep-16	282	15,837	50,723	2,407,011	47.45	92.85
oct-16	242	11,906	50,965	2,400,031	47.09	91.60
nov-16	249	18,021	51,214	2,425,033	47.35	91.95
dic-16	209	11,441	51,423	2,411,473	46.89	96.28
ene-17	185	12,807	51,608	2,437,840	47.24	97.36
feb-17	254	13,808	51,862	2,425,280	46.76	96.29
mar-17	328	13,538	52,189	2,451,378	46.97	95.05
abr-17	165	12,996	52,354	2,438,276	46.57	92.00
may-17	195	14,765	52,548	2,466,143	46.93	86.70
jun-17	203	12,120	52,751	2,450,396	46.45	97.70

Fuente: Elaborados por el autor